

Annexe 4 : Diapositives des conférences données à l'Université de Yaoundé 1



Apports de la télédétection pour la caractérisation des systèmes agroforestiers

Yaoundé, 16 mai 2011





Camille Lelong


- Chercheur en **télédétection et analyse spatiale** pour la caractérisation et l'évaluation des systèmes de culture pérennes et agroforestiers, **CIRAD**, depuis 2001
- **Doctorat** en Sciences de l'Univers, spécialité **télédétection hyperspectrale** (Toulouse III, 1999):
« Caractérisation des surfaces agricoles et de leur évolution par reconnaissance hyperspectrale »
- Masters en Physique Appliquée:
 1. DEA « **Méthodes Physiques pour l'Astronomie et les Techniques Spatiales** » (Paris VI, 1995)
 2. DEA « **Géophysique et Planétologie** » (Toulouse III, 1996)

Domaines d'application

Palmier à huile, cocotier, bananier, caféier (arabica et robusta, monocultures et SAF bananiers, agrumes et girofliers), fruitiers méditerranéens (pêche, abricot, cerise, amande, olive, vigne)



- Cartographie de l'occupation du sol et écologie du paysage
- Repérage/cartographie de systèmes de culture particuliers
- Typologie
- Caractérisation de la structure de plantation, des modes de plantation, de l'ombrage
- Caractérisation et délimitation de terroirs
- Estimation de la fermeture, de la complexité du peuplement
- Détection/évaluation de l'atteinte par les maladies (CWD/robusta, ganoderma/palmier, JM/cocotier...)
- Détection de carences nutritionnelles (N, P, K...)
- Estimation du LAI



Indonésie (Sumatra, Bali), Vanuatu, Ouganda, Mali, Guinée, Sénégal, Guadeloupe (Antilles Françaises), Gard et Hérault (France)

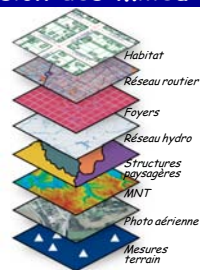
Présentation

- Télédétection: définitions, principes
- Exemples d'application en agroforesterie
- Projets au Cameroun
- Perspectives

La géomatique

Analyse combinée des différentes sources d'information spatiale pour la caractérisation/compréhension des milieux

- **Imagerie satellite/aérienne**
 - Support cartographique
 - Information endogène
- **Produits de télédétection**
 - Cartes d'occupation du sol
 - Modèle numérique de terrain
 - Paramètres biophysiques
 - ...
- **Systèmes d'Information Géographique**
Croisement des informations géoréférencées



La télédétection, c'est...

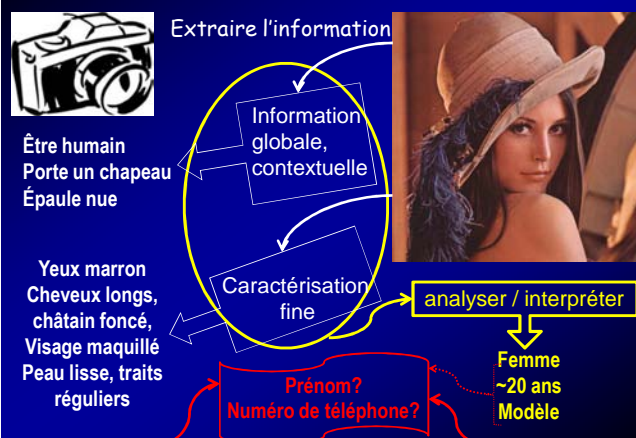
« ... la science et la technique permettant d'obtenir une information utile sur un objet, une scène ou un phénomène à travers l'analyse de données acquises par un système qui n'est pas en contact avec l'objet, la scène, ou le phénomène étudié. »

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley and Sons, Inc, 1979, pp610.

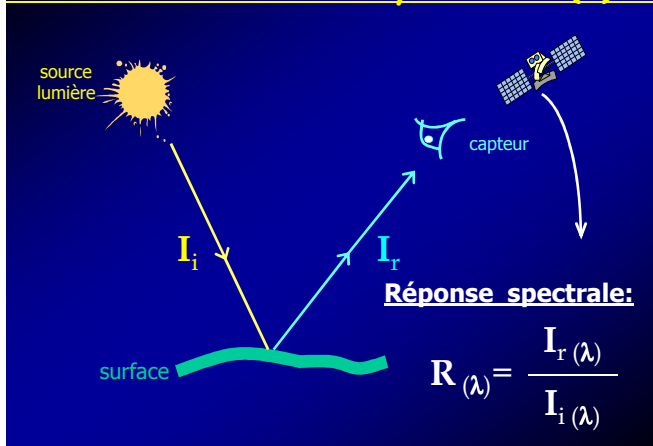
Télédétection: extraction de l'information



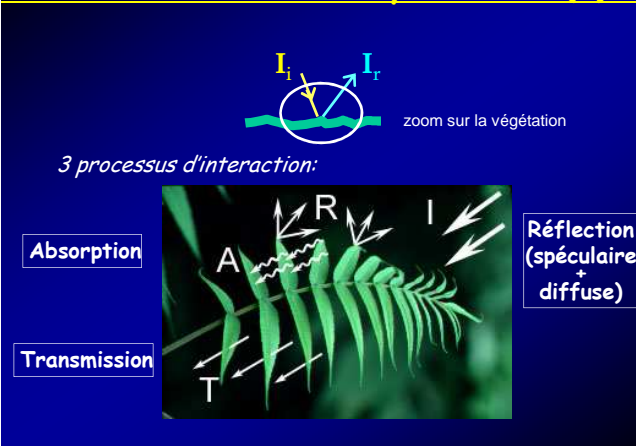
Télédétection: extraction de l'information



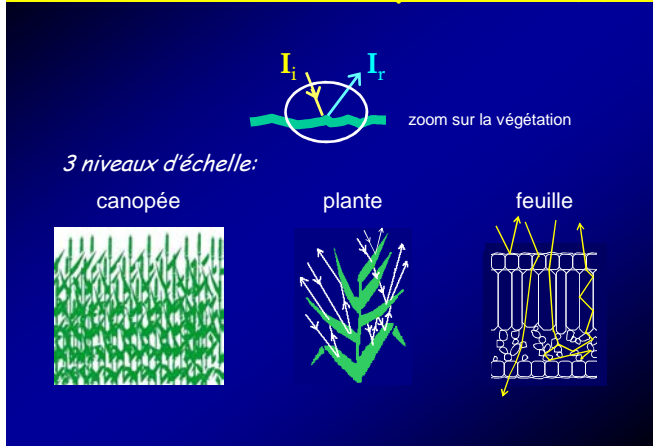
Interactions Cible/Rayonnement (1)



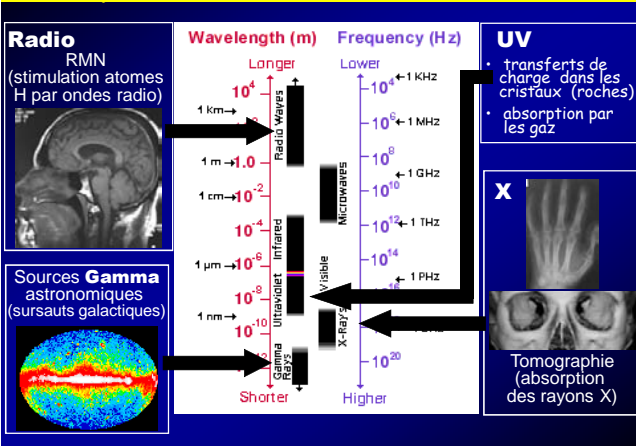
Interactions Cible/Rayonnement (2)



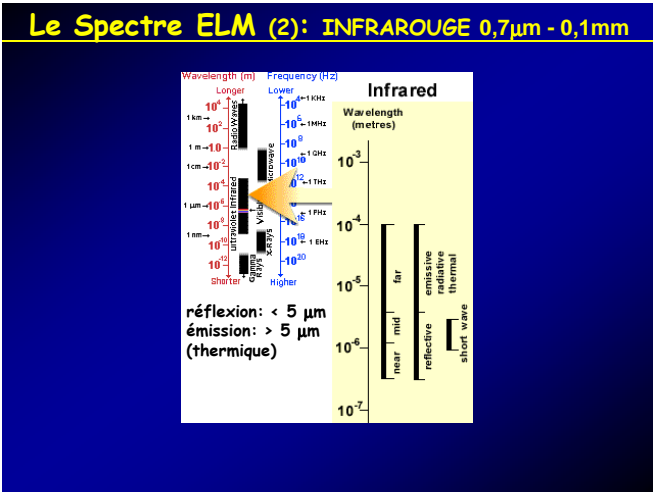
Interactions Cible/Rayonnement (3)



Le Spectre ELM (1): γ - X - UV - radio



Le Spectre ELM (2): INFRAROUGE 0,7 μ m - 0,1mm



Le Spectre ELM (2): INFRAROUGE 0,7 μ m - 0,1mm

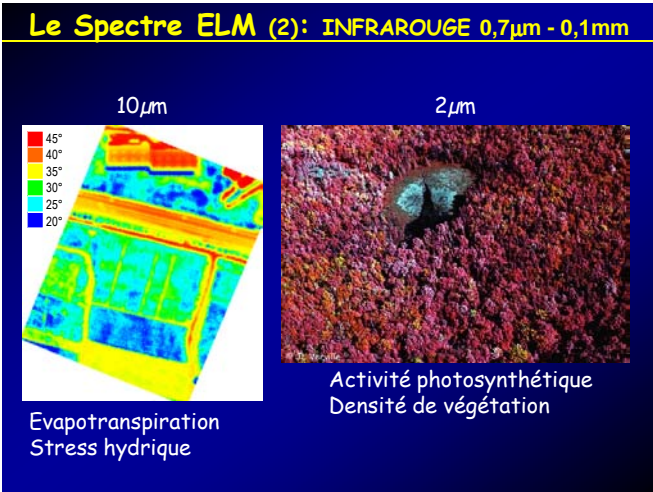
10 μ m

45°
40°
35°
30°
25°
20°

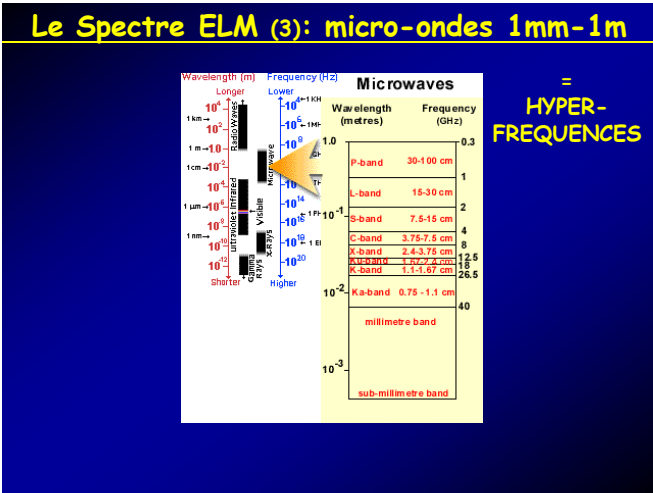
2 μ m

Evapotranspiration
Stress hydrique

Activité photosynthétique
Densité de végétation



Le Spectre ELM (3): micro-ondes 1mm-1m



Le Spectre ELM (3): micro-ondes 1mm-1m

A Synthetic Aperture Radar (SAR) image showing a river and surrounding terrain. The river is labeled 'river' and has a scale bar indicating 500 m.

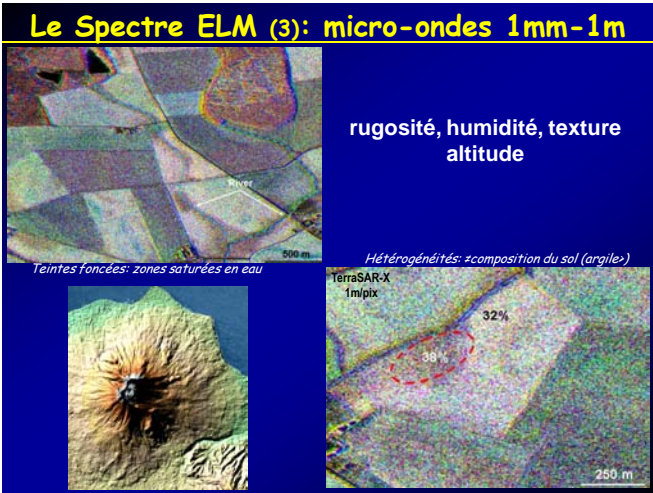
Teintes foncées: zones saturées en eau

A 3D topographic map of a mountain peak, showing the terrain's elevation and shape.

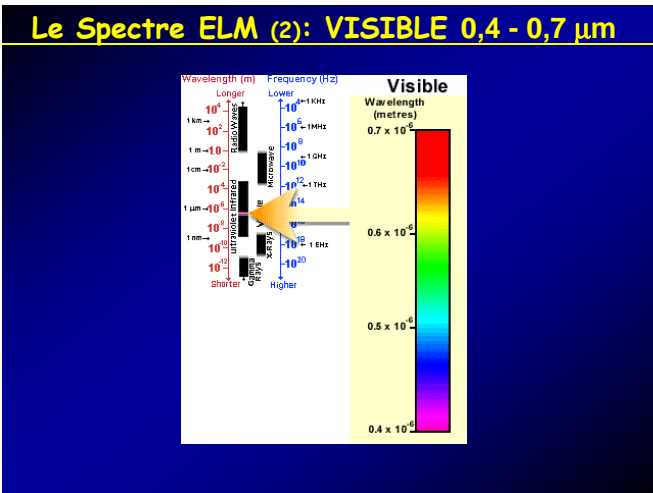
rugosité, humidité, texture
altitude

Hétérogénéités: composition du sol (argile)

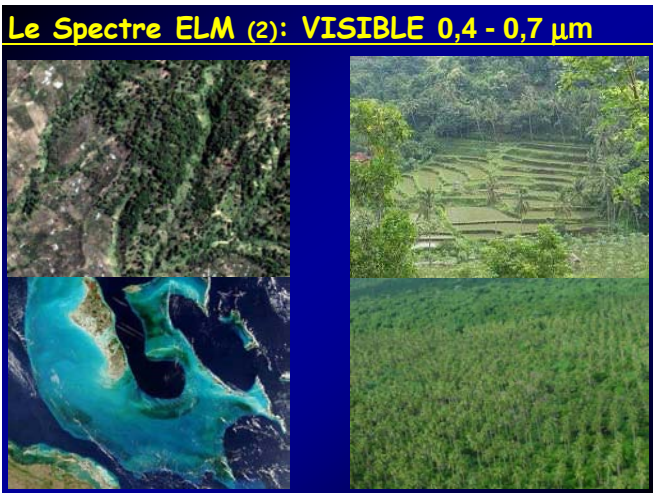
A TerraSAR-X 1m pixel SAR image showing a textured surface. Two regions are labeled with percentages: 32% and 38%. A scale bar indicates 250 m.



Le Spectre ELM (2): VISIBLE 0,4 - 0,7 μm

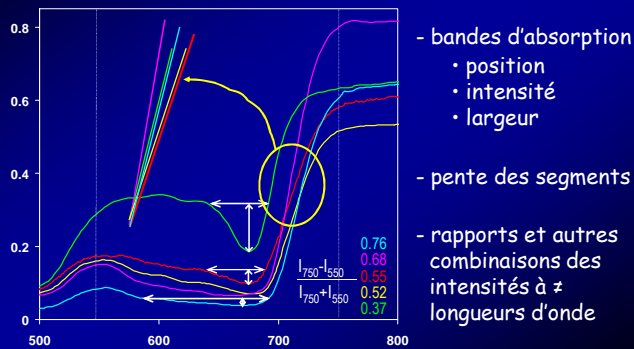


Le Spectre ELM (2): VISIBLE 0,4 - 0,7 μm

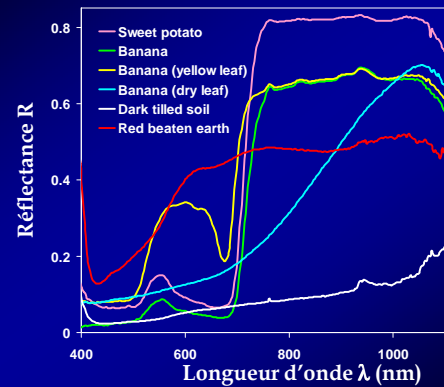


L' Information Spectrale

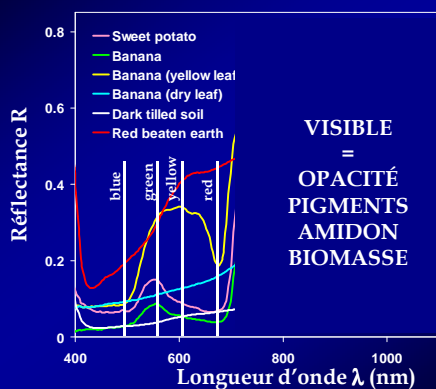
SPECTROSCOPIE =
analyse de la réponse spectrale de la cible



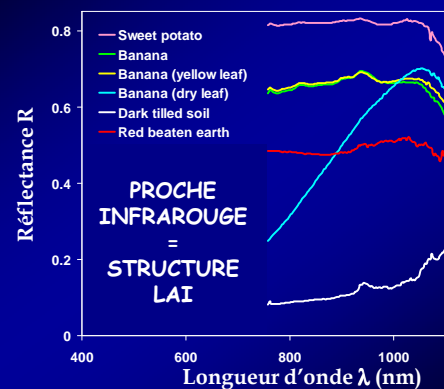
Végétation / Visible + Infrarouge



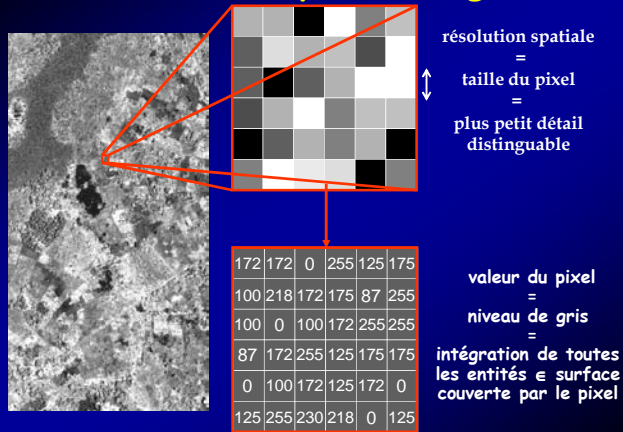
Végétation / VIS



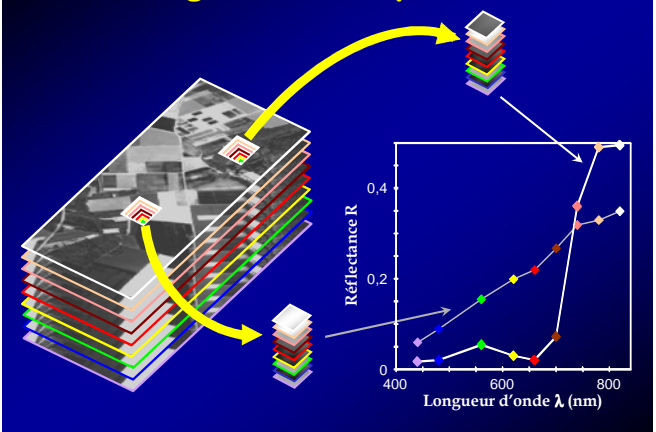
Végétation / NIR



Qu'est-ce qu'une image?



Imagerie Multispectrale



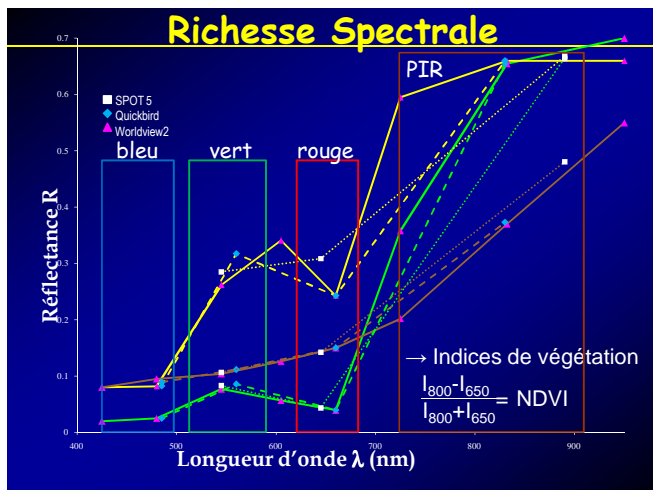


Image et Télédétection

3 facteurs limitants pour la détection et la caractérisation de la cible:

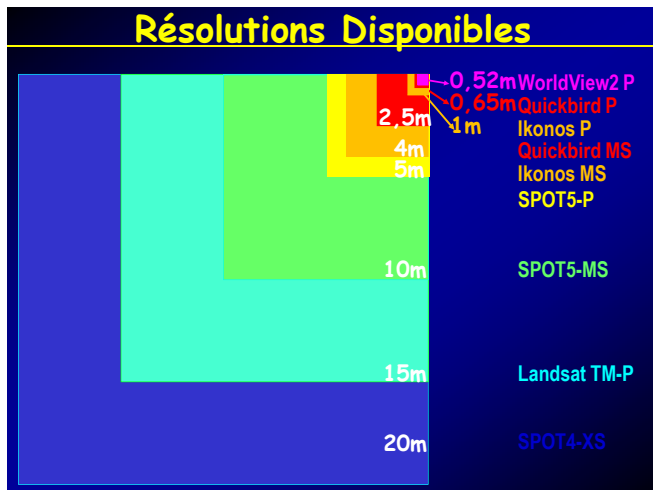
- taille de la cible
- hétérogénéité de l'environnement étudié
- niveau d'information recherché

↓

Le choix de la résolution spatiale est crucial!

Disponibilités à bord de satellites:

- faible/moyenne résolution = 1 km / 10 km (AVHRR, POLDER, MODIS, VGT)
- haute résolution = 10 m / 30 m (SPOT, LANDSAT, IRS)
- **très haute résolution = m** (IKONOS, QUICKBIRD, WORLDVIEW, GeoEye)



Echelles spatiales (1/3)

- Globale

Capteurs « grand champ » à faible résolution spatiale (100 à 1000m/pix)

VGT, ENVISAT, MODIS...

Le continent Africain

Echelles spatiales (2/3)

- Régionale

Conakry (Guinée)

Capteurs à haute résolution spatiale (10 à 30m/pix)

SPOT, Landsat, IRS...

Echelles spatiales (3/3)

- Locale, voire intraparcellaire

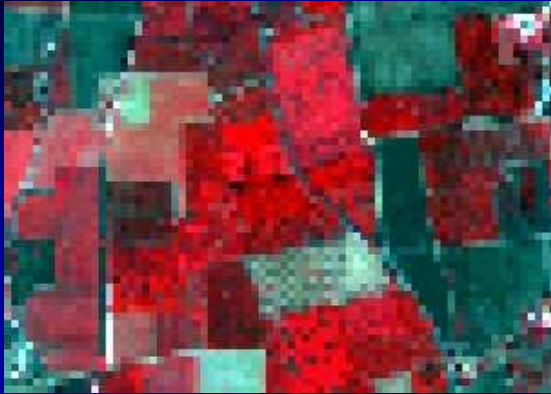
Capteurs à très haute résolution spatiale (0,5 à 4m/pix)

Quickbird, Worlview, GeoEye...

Mukono (Ouganda) Mukono (Ouganda)

Apports de la très haute résolution

SPOT5 (10m)



Apports de la très haute résolution

Quickbird (2,5m)



Apports de la très haute résolution

Quickbird (0,7m)



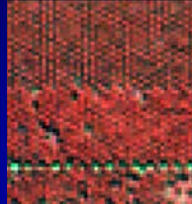
Apports de la très haute résolution

SPOT XS (20m)



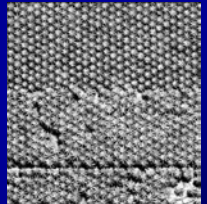
1 pixel ↔ 10 palmiers

IKONOS MS (4m)

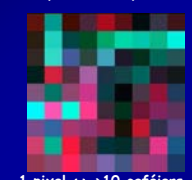


1 pixel ↔ 1-2 palmiers

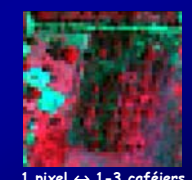
IKONOS P (1m)



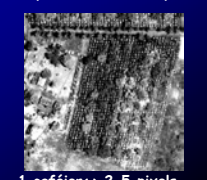
1 palmier ↔ 30-40 pixels



1 pixel ↔ >10 caféiers



1 pixel ↔ 1-3 caféiers



1 caféier ↔ 2-5 pixels

Apports de la très haute résolution

Multispectrale: 2m/pix



Fusion Multispectrale +
Panchromatique: 55cm/pix



Donnée Worldview 2, composition PIR1-Rouge-Vert

Analyse de Texture

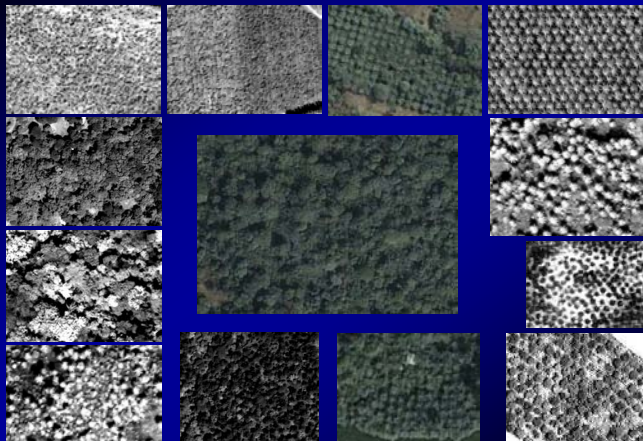
Forme + Configuration

d'un groupe de pixels de niveaux de gris différents
(Lake, 1991)

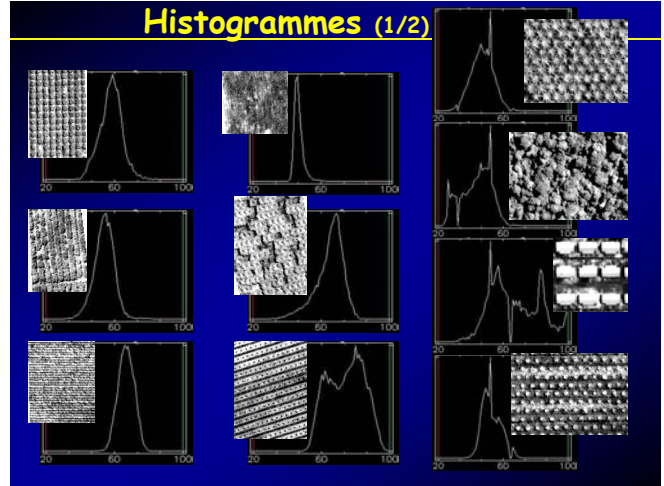
**Impression visuelle d'homogénéité globale
alors qu'il y a une grande variabilité
spectrale ou tonale**

- Possibilité de définir un « motif »
= fenêtre de dimension réduite dans laquelle la perception
est identique pour toute position envisageable par
translation
↳ Primitive ou texon
- Vocabulaire rappelant le « toucher »:
lisse, rugueux, granuleux, strié, tissé, duveteux, etc...

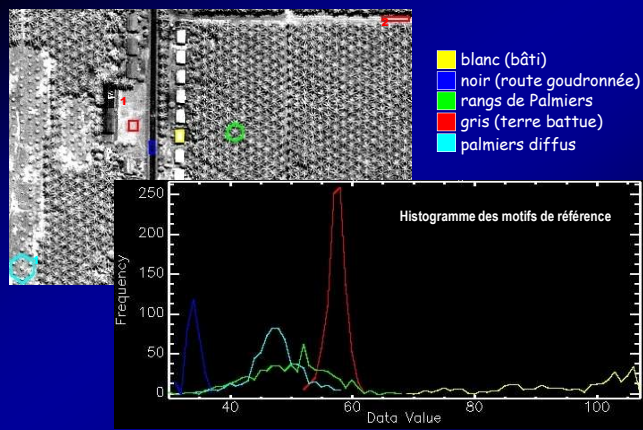
La texture en télédétection THRS



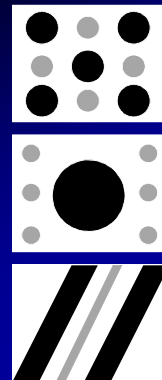
Histogrammes (1/2)



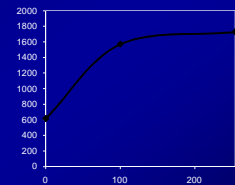
Histogrammes (2/2)



Histogrammes: limite



Histogramme identique !



↳ L'organisation spatiale n'est pas prise en compte

Matrice de Cooccurrence

Matrice des « nombres de fois » qu'on trouve la transition de (i) vers (i+"pas"), dans la direction α (degrés)

Pas = 1
Direction = 0°

Transition de 2 vers 0
Transition de 3 vers 1

2	2	0	3	2
1	3	2	2	1
1	0	1	2	2
1	2	3	1	2
0	1	2	1	2
1	3	3	0	1

		j			
	i \ j	0	1	2	3
0	0	0	3	0	1
1	1	1	0	6	2
2	2	2	2	3	2
3	3	1	2	1	3

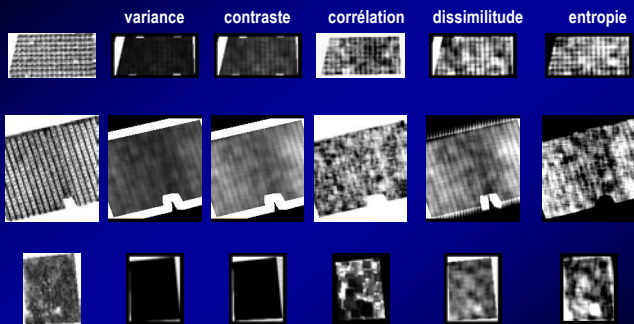
Indices de Texture de Haralick

STATISTIQUES SUR LA MATRICE DE COOCCURRENCE:

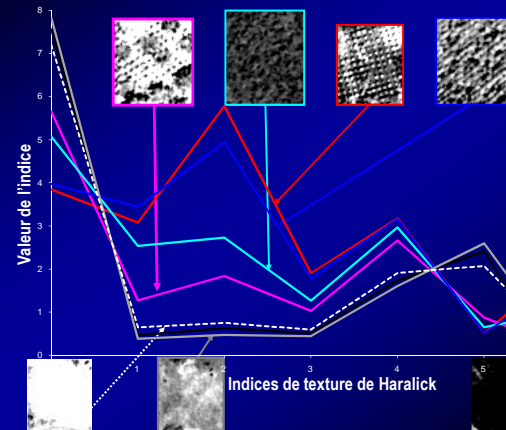
- Moyenne
- Variance (distribution des niveaux de gris dans le motif, ex forêt: tous autour de la moyenne = variance faible)
- Homogénéité ($\sim 1/\text{contraste}$)
- Contraste (changements abrupts de radiométrie dans la zone, ex champs: quasi homogène = contraste faible)
- Dissimilitude ou Energie (niveau de (dés)organisation, quantité d'éléments distincts composant le motif)
- Entropie (granularité de la texture, ex taille des arbres)
- Moment des différences inverses ($\sim 1/\text{corrélation}$)
- Corrélation (uniformité de la texture, ex discrimination stoch./mixte)
- ...

Haralick, R. M., K. Shanmugam, I. Dinstein 1973. Textural Features for Image Classification. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 3(6) 610-621

Indices de Texture de Haralick

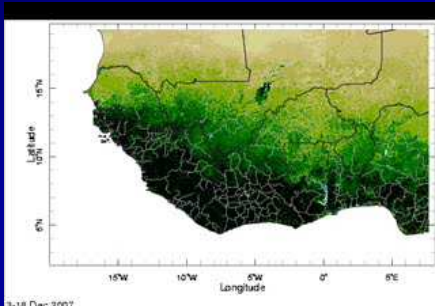


Signature texturale



Echelles temporelles

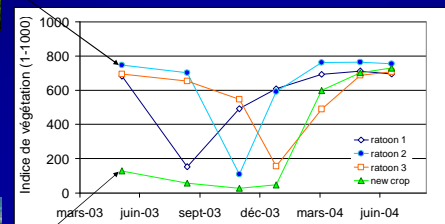
- Constat instantané ou
- Suivi (hebdomadaire, mensuel, annuel, ...)



Evolution de la densité de végétation en Afrique de l'Ouest et du Centre en 2008 (USGS LandDAAC MODIS - NDVI)

Signature temporelle

Variation d'un indice de végétation sur la canne à sucre au cours de la saison: discrimination entre pousses, coupes et repousses



Modes d'extraction de l'information

- 1) Reconnaissance, discrimination, typologie, cartographie:
- Photo-interprétation assistée par ordinateur
- Classifications semi-automatiques

2) Estimation de variables biophysiques

- Inversion des modèles de transfert radiatif
- Indicateurs spectro-spatio-temporels et relations allométriques

Photo-interprétation 1. Compositions colorées

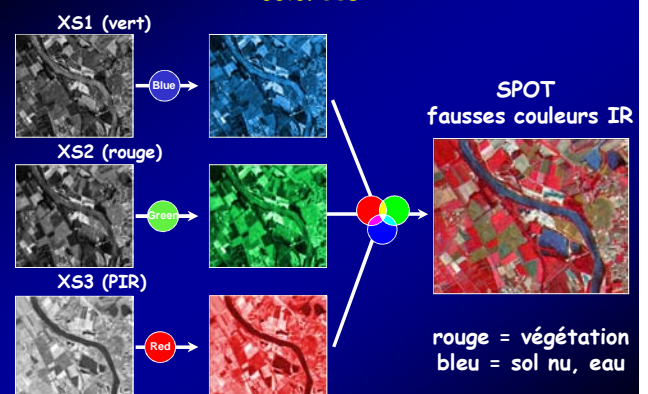


Photo-interprétation 2. Clefs

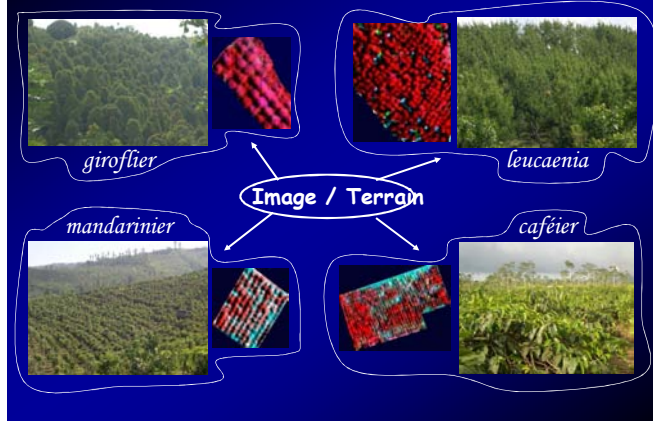


Photo-interprétation 3. Vectorisation



Photo-interprétation 4. Rastérisation



Segmentation

Regroupement itératif d'ensembles de points d'une image selon leur *homogénéité* afin d'obtenir une **partition de l'image en zones homogènes** selon un ou plusieurs critères déterminés: *couleur, texture, indice,...*

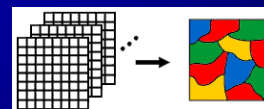
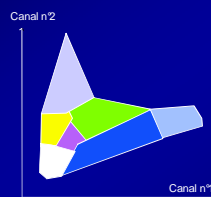
On obtient ainsi la délimitation des « objets »

Segmentation



Classification

Affectation d'un attribut, d'une **catégorie** unique (classe) à un **élément** de l'image (pixel, objet) à partir de **descripteurs** (spectraux, texturaux, de forme, structure, contexte, temporels,...) par **partition de l'espace des descripteurs**



On obtient ainsi une répartition, un **zonage thématique**

Classification

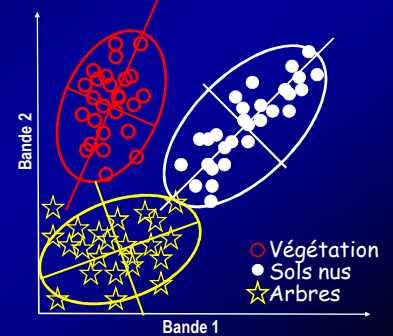


Limites des classifications par pixel

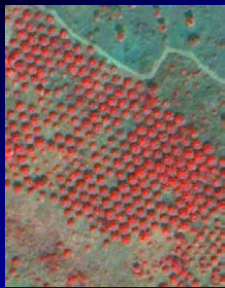


Discrimination de la classe « plantation d'arbres » ?

Partition de l'espace spectral optimum (théorique) pour une classification

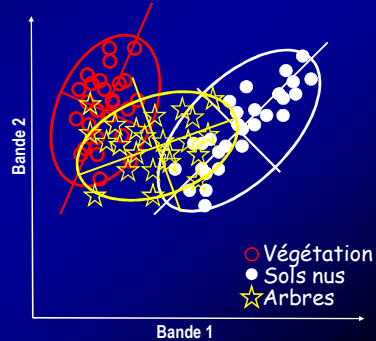


Limites des classifications par pixel



Discrimination de la classe « plantation d'arbres » ?

Impossibilité en réalité d'obtenir une partition de l'espace....



Effet « Poivre et Sel »

Quickbird (0,7m)

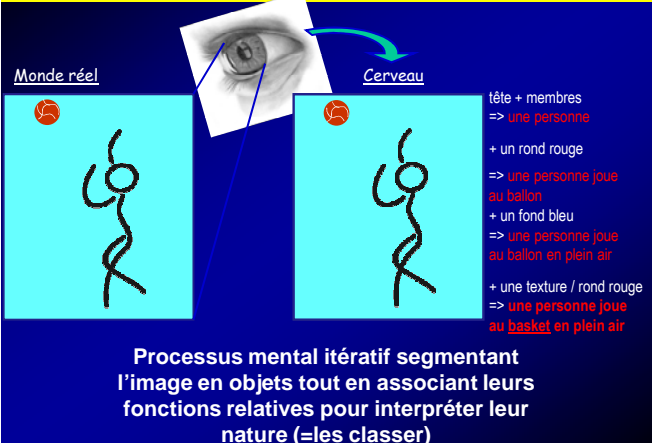


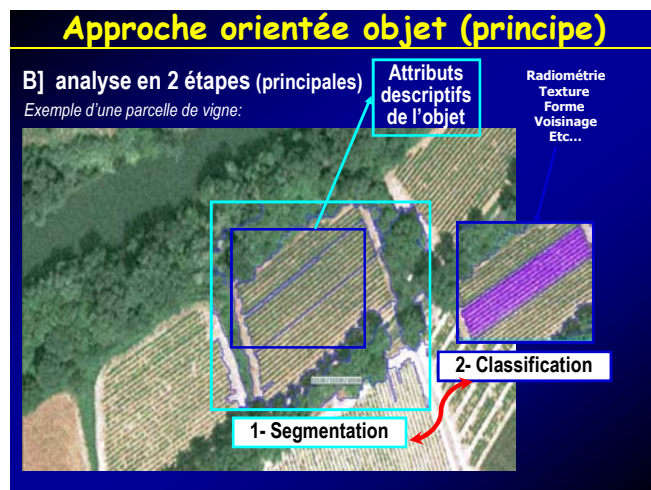
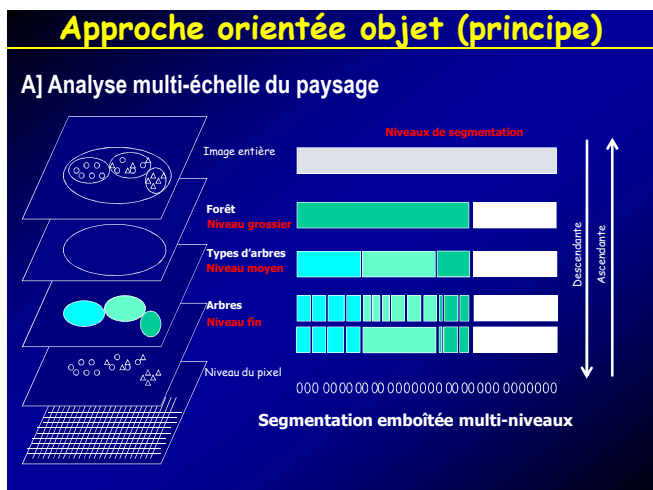
Effet « Poivre et Sel »

Classification K-PPV

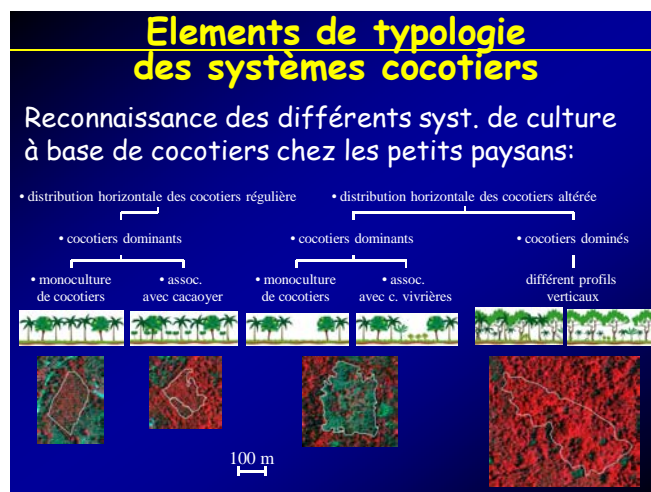
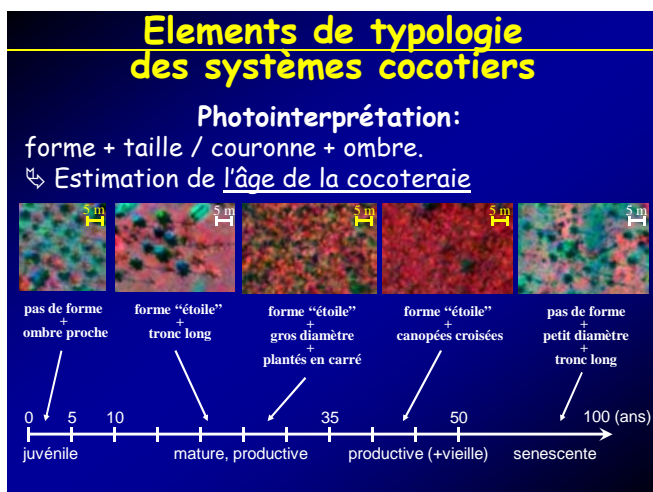
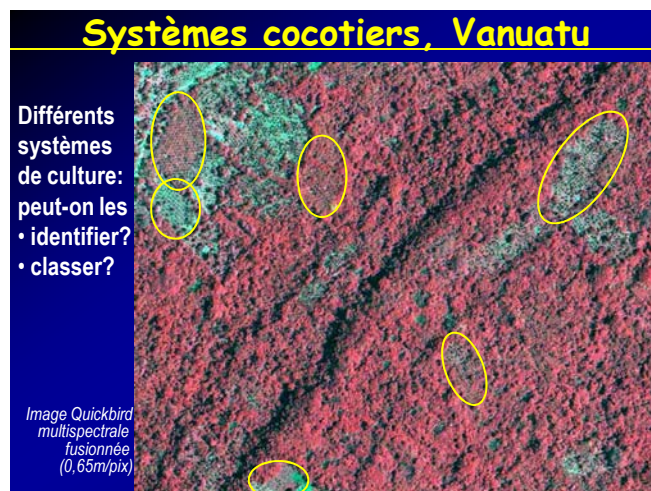


Approche orientée objet (principe)



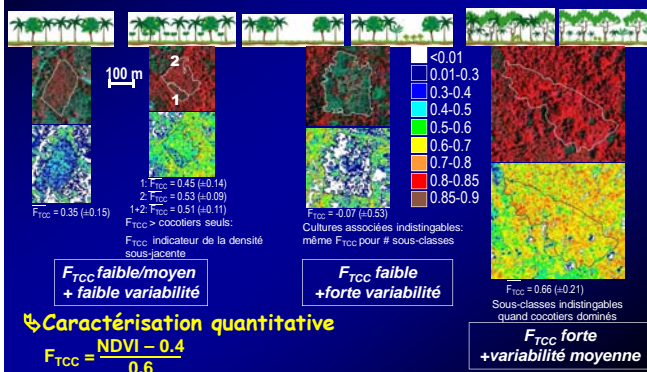


- ## Quelques exemples
- Systèmes complexes à base cocotiers, Vanuatu (Malo)
 - Caféiers en monoculture sous ombrage, Ouganda (Mukono)
 - Estimation du LAI de palmiers, Indonésie (Padang Halaban, Sumatra)
 - Terroir caféier, Indonésie (Kintamani, Bali)
 - Extension des Agroforêts, Guinée (Nienh)
 - Dynamique forestière, Cameroun (Bokito)



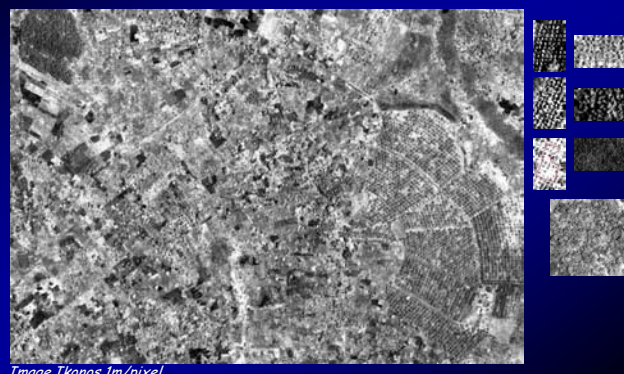
Ouverture de la canopée dans les systèmes cocotiers

Développement d'un indice d'ouverture de la canopée



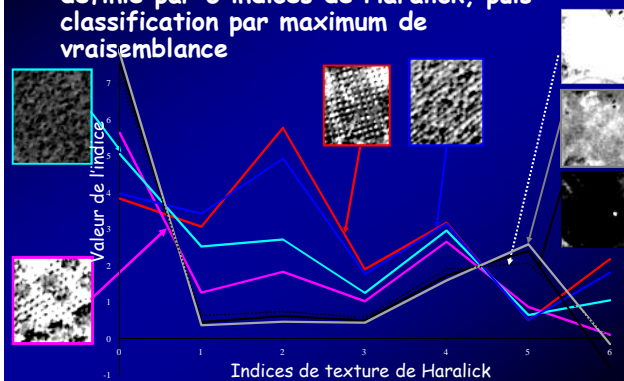
Vergers caféiers, Ouganda

- Repérage par photointerprétation et sélection de motifs/textures caractéristiques

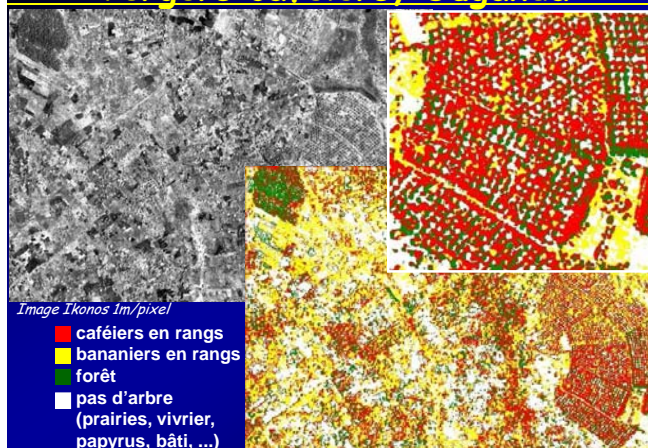


Repérage de vergers caféiers

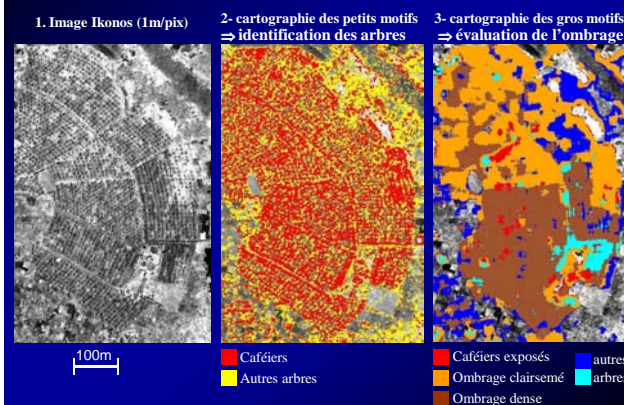
- Analyse de la signature texturale définie par 6 indices de Haralick, puis classification par maximum de vraisemblance



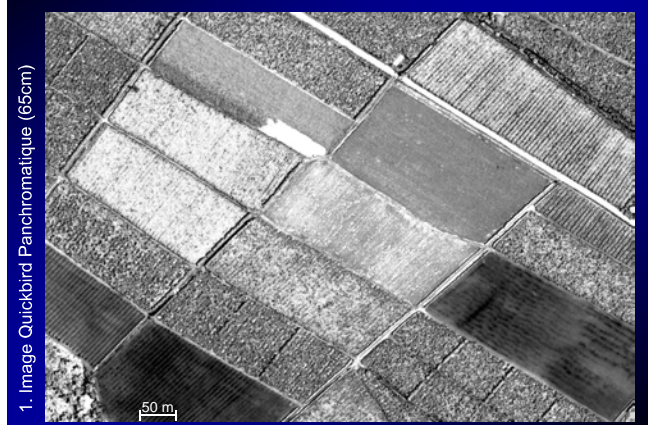
Vergers caféiers, Ouganda



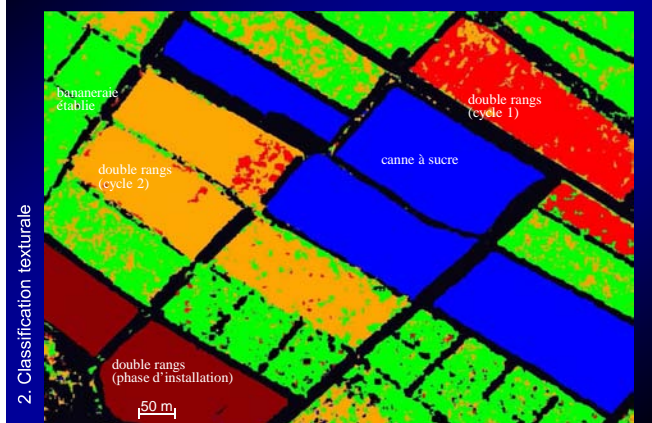
Quantification de l'ombrage



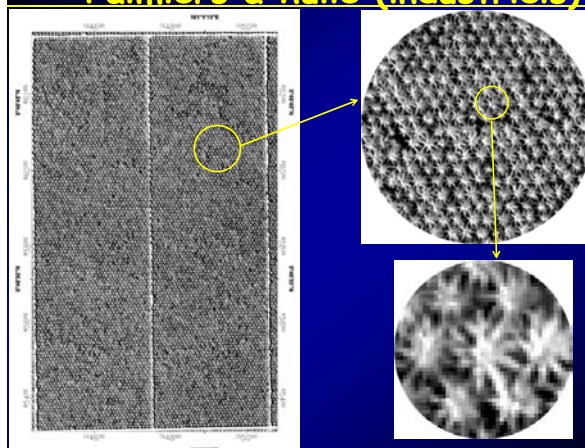
Identification des SdC bananiers



Identification des SdC bananiers

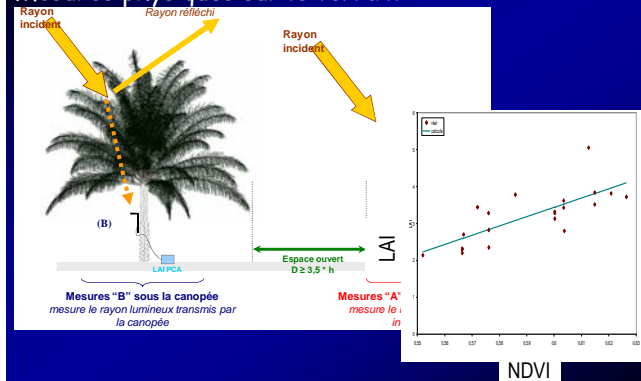


Palmiers à huile (industriels)



Estimation du LAI / arbres

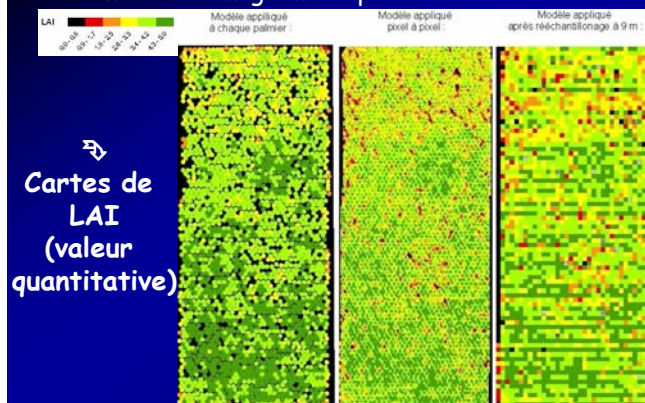
Mesures physiques sur le terrain



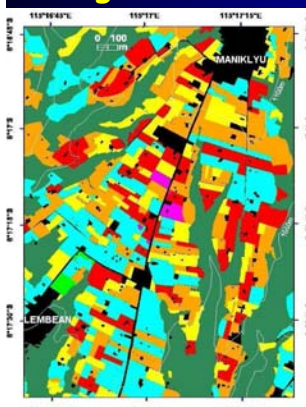
Modèles allométriques

Estimation du LAI / arbres

Traitement de l'image multispectrale



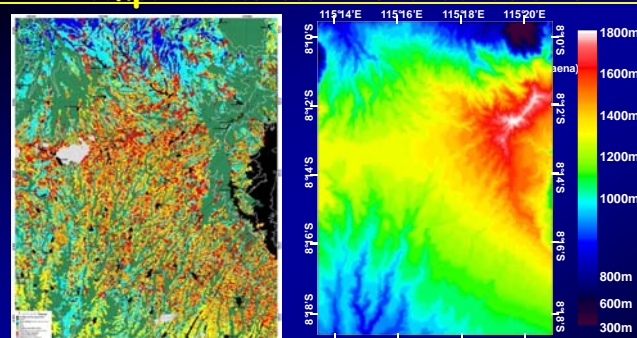
Cartographie des Systèmes Agroforestiers à Bali (Indonésie)



Cartographie fine de l'occupation du sol par photointerprétation à partir d'images Quickbird à 65cm de résolution

- Habitations
- Forêts
- Ombrage dense (erythrina, albizia, leucaena)
- Agrumes
- Cultures vivrières
- Arabica sous agrumes
- Arabica sans ombrage

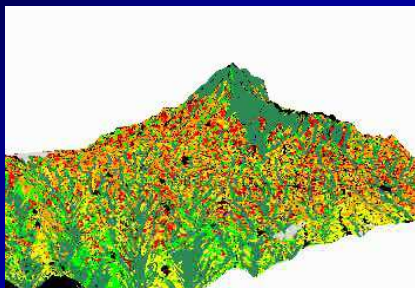
Compréhension des territoires



Cartographie des systèmes de culture

Cartographie de la topographie

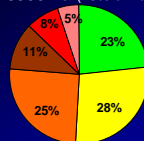
Compréhension des territoires



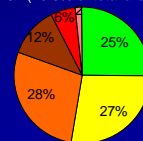
Terroir du café Arabica de Kintamani, Bali (Indonésie)

Hypsométrie

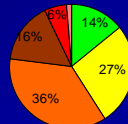
Surface totale ≥ 1000 m
= 16500 ha (75% of frame)



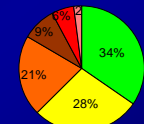
Surface plantée en arabica ≥ 1000 m
= 3400 ha (20.6% of total area)



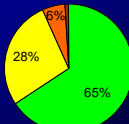
Arabica sous agrumes
= 1660 ha



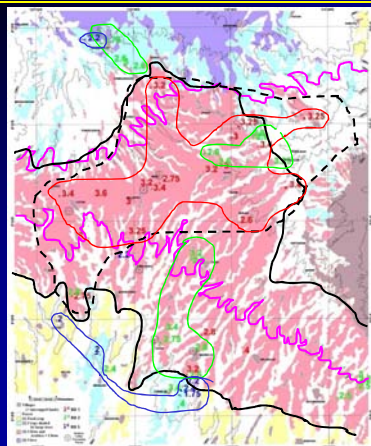
Arabica sous ombrage dense
= 1670 ha



Arabica sous girofliers
= 65 ha



Délimitation d'un terroir



Croisement avec les analyses sensorielles de la tasse (ACIDITÉ)

3.6 • Bon
2.4 • Moyen
1.8 • Mauvais

Centres de production

« Agrorégions »

Giroflier
Ombrage dense
Agrumes
Vivriers

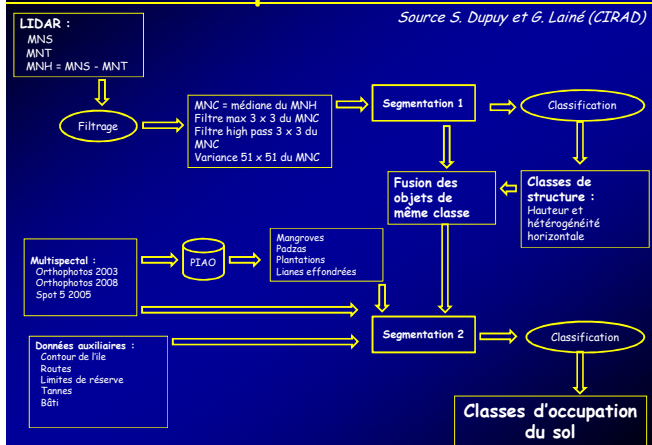
Rough limits of quality group
Unjustified limit of quality group
Objective limits of quality group based on citrus agregion borders
Objective limits of quality group based on 1200m altitude level

Repérage des Agroforêts à Mayotte

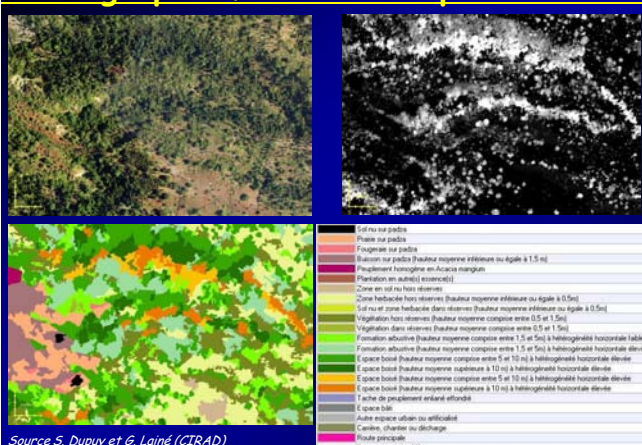


Chaîne complexe de traitements

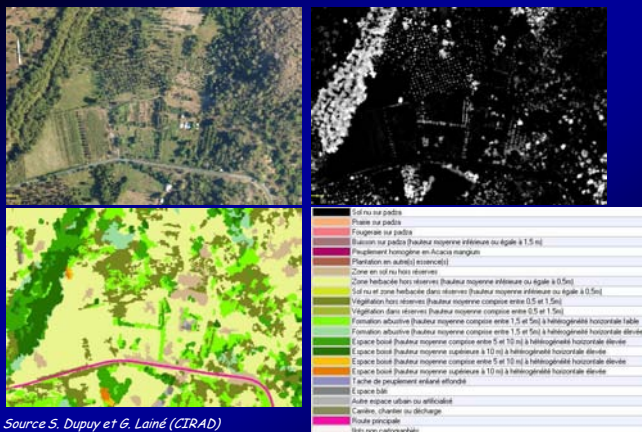
Source S. Dupuy et G. Lainé (CIRAD)



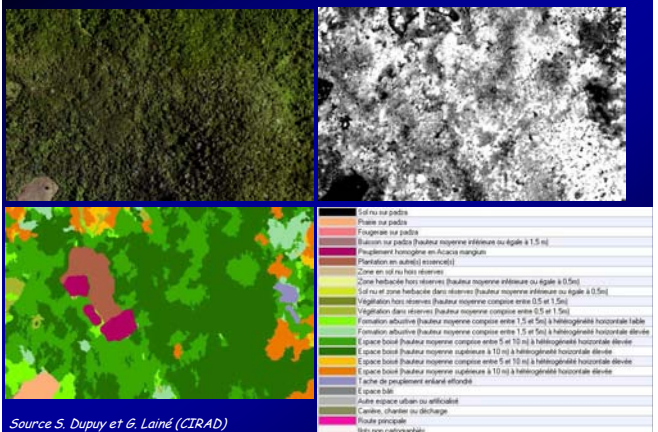
Cartographie fine de l'occupation du sol



Cartographie fine de l'occupation du sol



Cartographie fine de l'occupation du sol



Dynamique forestière, Cameroun



Région de Bokito

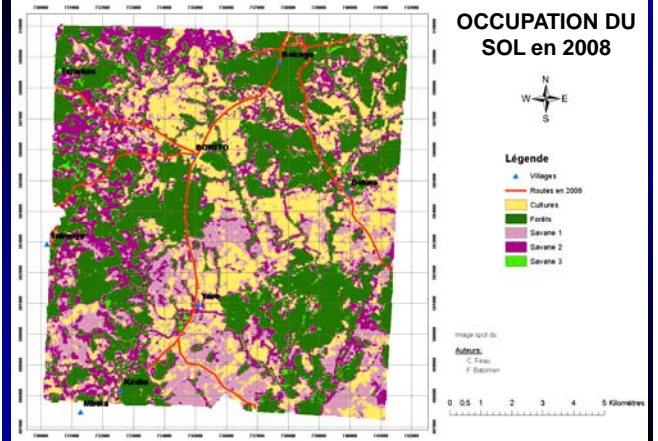
Image SPOT
2008

+

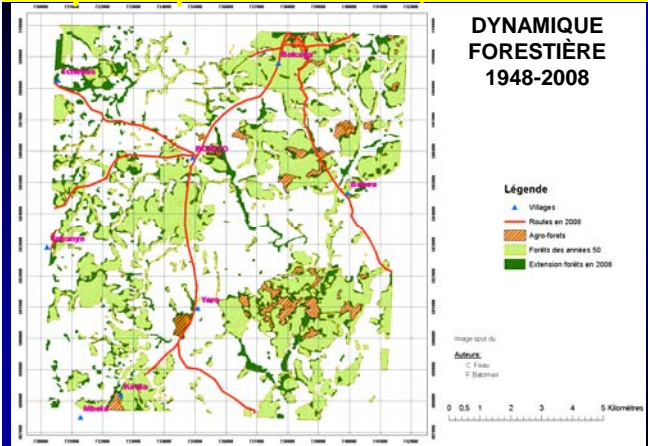
Image aérienne
1948

(source: C. Féau et F. Batomen)

Dynamique forestière, Cameroun

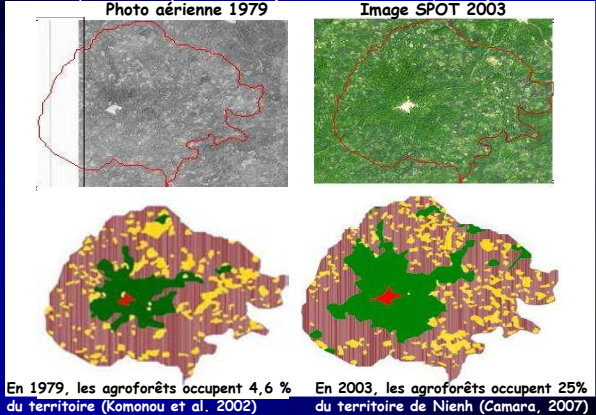


Dynamique forestière, Cameroun



Extension des agroforets, Guinée

Exemple du village de Nienh (extrait de Camara, 2007)



Projets au Cameroun

Caractérisation de la structure de plantation des systèmes agroforestiers par télédétection à très haute résolution spatiale

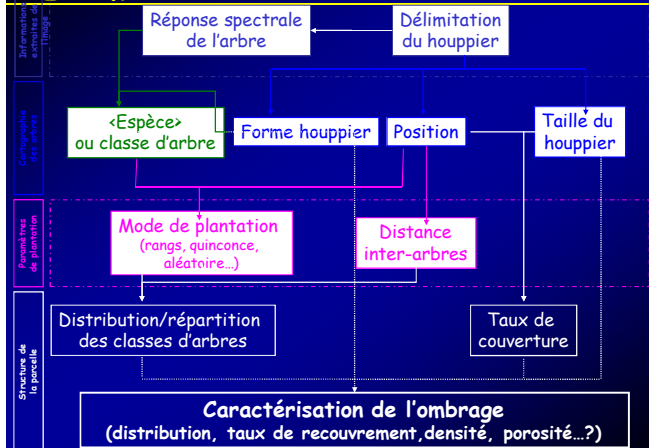
- Développement d'outils sur le cas particulier du cacao et la région de Bokito
- Mise en œuvre et validation sur d'autres SAF et régions au Cameroun (café, ...)
- Généralisation aux SAF africains

- Thèse Manuel Castela
- Projet EuropeAid
- Programme National de Télédétection Spatiale (+CNES)
- ...

Questions de recherche

- est-il possible de délimiter les différents objets qui constituent la structure (arbres ou strates arborées, vivrier...)?
- est-il possible d'identifier les différentes classes d'arbres cultivés?
- quels indicateurs de structure peut-on extraire à partir de ces données?
- peut-on établir une typologie fine des SAF basée sur leur structure et leur composition?
- peut-on extraire des indicateurs de production à partir de la donnée de télédétection?
- quel est l'apport de l'approche géomatique vs. terrain ?

Estimation d'indicateurs de structure



Zone d'étude

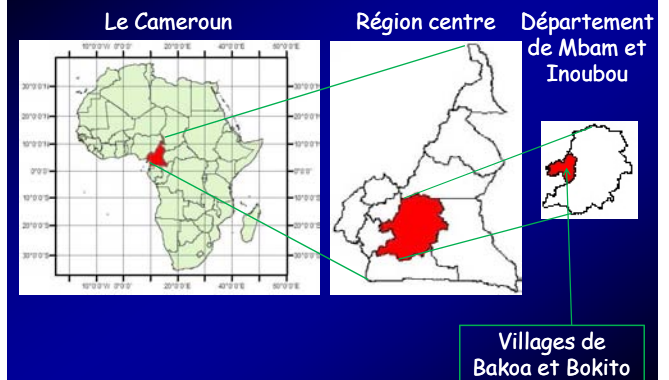
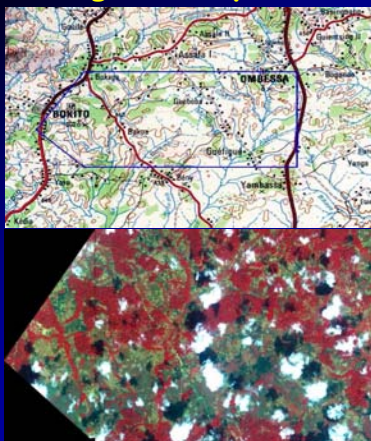


Image multispectrale WorldView 2



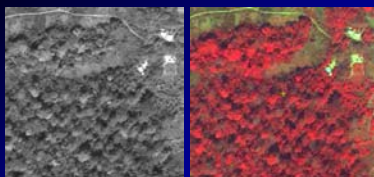
- ✓ 0,55cm/pix en panchromatique
- ✓ 2m/pix en multispectral
- ✓ 8 bandes spectrales VIS-PIR
- ✓ 21 février 2011

Systèmes agroforestiers à base cacao



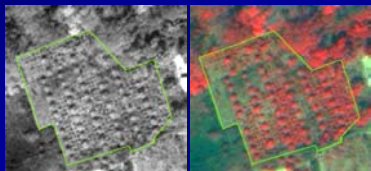
Systèmes agroforestiers à base cacao

Systèmes traditionnels



- ✓ ombrage très dense
- ✓ grande diversité d'arbres
- ✓ organisation aléatoire, complexe

Systèmes dits « innovants »



- ✓ nombre limité de classes d'arbres
- ✓ structuration déterministe
- ✓ espacements réguliers



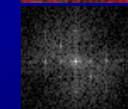
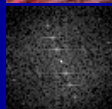
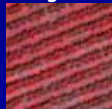
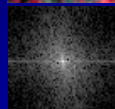
Paramètres de Fourier

Motif du spectre de Fourier de la parcelle = représentatif de la structure de plantation

Non périodique

Lignes

Grille



Paramètres de Fourier

1) N_p = Nombre de Pics (en dehors du centre)

Si $N_p > 2$: périodique

Si $N_p \leq 2$: non périodique

stop

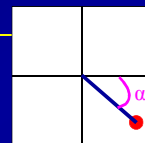
2) α = angle entre abscisses et pic
= orientation de la plantation dans l'image

Si 1 seul α : rangs

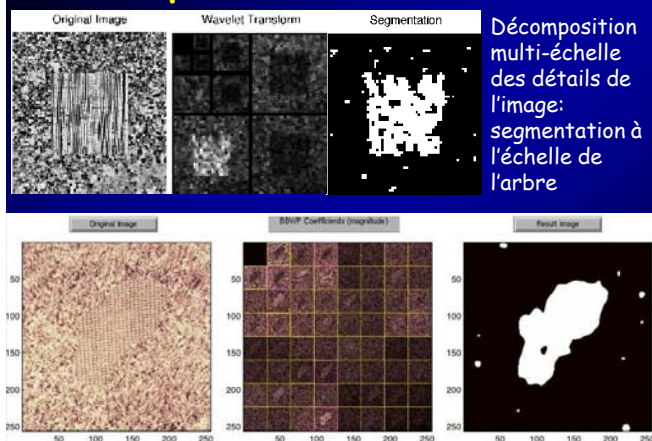
Si plusieurs α : plantation en grille

3) $d_1 + d_2$ = Distances pics / centre
= largeur du rang et de l'inter-rang

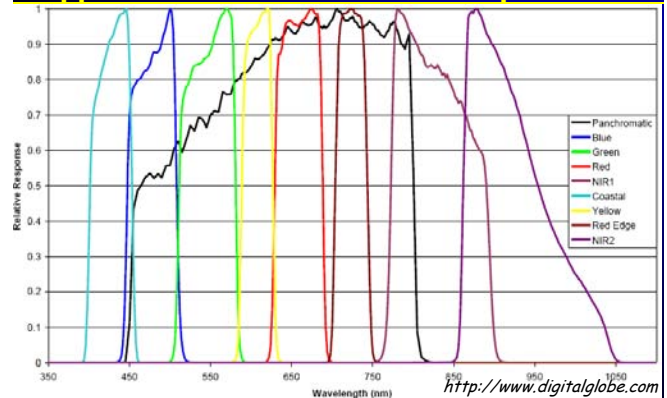
3) d = Distance pic / centre
= taille de la grille



Exploration: Ondelettes



Apports de l'enrichissement spectral ?



Discrimination des types d'arbres? Estimation d'indicateurs de production? Détection d'attaques / bioagresseurs?

Enjeux pour les SAF (1/2)

- Structure spatiale intraparcellaire
- Cartographie, estimation des surfaces
- Positionnement dans le paysage, la région, la toposéquence, le réseau hydrographique, ...
- Estimation de paramètres biophysiques/agro
- Evaluation de l'état sanitaire, détection de foyers de maladie, ...

↳ **Evaluation agronomique des SAF**

Enjeux pour les SAF (2/2)

- Suivi des itinéraires techniques (à l'échelle de la parcelle, de la concession)
- Suivi de la dynamique spatiale des territoires: extensions, remembrements, déplacements, ...

Service vs recherche

Points nécessitant de forts développements méthodologiques :

- Typologie, avec (re)définition basée sur des caractéristiques structurales
- Quantification + caractérisation de l'ombrage
- Détection des maladies et épidémiologie
- Performances agronomiques
- Dynamiques

Service vs recherche

Contraintes principales:

- Complexité (hétérogénéité + discontinuité) des milieux, réadaptation des techniques actuelles
- Asservissement aux enquêtes de terrain, mise en place de protocoles de diagnostic
- Coût des images à très haute résolution et des séries temporelles d'image